

不同花期澳洲坚果花主要成分分析与抗氧化活性研究

张华玲, 余庆仙, 才晓玲, 方睿霞, 白玉英, 杨鑫鑫, 周启武*, 刘艳红*, 李进学*

滇西科技师范学院, 云南临沧 677000

摘要: 为探究澳洲坚果花在萌动期、初花期、盛花期的基础营养成分、活性物质含量及抗氧化活性的变化情况, 为其开发利用提供科学依据。本研究以处于这 3 个花期的澳洲坚果花为研究对象, 对其基础营养成分、活性物质含量及抗氧化活性的变化进行系统分析, 研究结果表明: 在 3 个花期的澳洲坚果花基础营养成分方面, 水分含量呈递减趋势, 其中萌动期最高, 为 $(70.99\pm 2.58)\%$; 可溶性蛋白质含量在萌动期最高, 为 $(0.054\pm 0.009)\%$; 粗脂肪含量呈先升高后降低, 其中初花期最高, 为 $(2.20\pm 0.021)\%$; 总灰分含量呈先降低后升高, 其中盛花期最高, 为 $(3.73\pm 0.02)\%$; 总糖含量在初花期最高, 为 $(1.65\pm 0.19)\%$ 。澳洲坚果花含有 16 种丰富的氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸和 9 种非必需氨基酸。且随着花期的发育, 总氨基酸含量不断减少, 其中必需氨基酸的占比及 E/N 值均接近国际优质蛋白标准, 蛋白质营养价值较好。在不同花期澳洲坚果花的矿物质元素含量方面, 5 种常量元素在 3 个花期的含量排序均为: 钾>钙>磷>镁>钠, 表现出高钾低钠的优势。其中, 盛花期钾含量是香蕉的 5.2 倍, 钙含量为牛乳均值的 5.0 倍。但若将其作为食品进行开发, 需关注砷、铬等有害元素超标的风险。在挥发性成分方面, 经检测共鉴定出萌动期 22 种、初花期 14 种、盛花期 20 种挥发性成分, 主要以己醛、d-柠檬烯等为主, 共同构成了澳洲坚果花独特的花香特征。活性成分分析显示, 总多酚含量随花期的延长呈显著降低, 萌动期总多酚含量为 $(18.47\pm 2.3)\text{mg/g}$; 总黄酮含量呈先高升后降低的趋势, 初花期含量最高, 达 $(8.09\pm 0.63)\text{mg/g}$ 。抗氧化活性评价表明, 萌动期的 DPPH 与 ABTS 自由基清除率最高, 分别为 $(89.96\pm 0.61)\%$ 、 $(99.50\pm 0.22)\%$, 说明其抗氧化能力较强。综上所述, 澳洲坚果花在从萌动期到盛花期的阶段富含氨基酸、矿物质及活性物质, 且具有较高的抗氧化能力, 为其后续开发利用提供科学依据。

关键词: 不同花期; 澳洲坚果花; 营养成分; 抗氧化活性

中图分类号: S664.9

文献标志码: A

Analysis of Main Components and Antioxidant Activity of *Macadamia* Flower at Different Flowering Stages

ZHANG Hualing, YU Qingxian, CAI Xiaoling, FANG Ruixia, BAI Yuying, YANG Xinxin, ZHOU Qiwu*, LIU Yanhong*, LI Jinxue*

West Yunnan University, Lincang, Yunnan 677000, China

Abstract: The study was aimed to explore the changes of basic nutrients, active substances and antioxidant activity of the *Macadamia* flowers in the bud swelling period, early flowering, and full-flowering stages, and provide the basis for its development and utilization. The changes of basic nutrients, active substance content and antioxidant activity of the *Macadamia* flowers at the bud swelling period, early flowering stage and full-flowering stage were systematically analyzed. The results showed that among the basic nutrients of the *Macadamia* flowers at three flowering stages, the water content showed a decreasing trend [the highest at the bud swelling period was $(70.99\pm 2.58)\%$]. Soluble protein was the highest $(0.054\pm 0.009)\%$ in the bud swelling period. Crude fat increased first and then decreased [the highest was $(2.20\pm$

收稿日期 2025-06-25; 接受日期 2025-08-16

基金项目 云南省地方本科高校基础研究联合专项(青年项目)(No. 202101BA070001-266); 云南临沧特色资源创新利用研究院建设项目(No. 2024LCTEC001); 临沧坚果全产业链标准体系建设项目(No. 2024LCTEC002)。

作者简介 张华玲(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食物资源开发与利用。*通信作者(Corresponding author): 周启武(ZHOU Qiwu), E-mail: zhqiwu1987@163.com; 刘艳红(LIU Yanhong), E-mail: Liu41294777@126.com; 李进学(LI Jinxue), E-mail: ljxue810@163.com。

0.021)% at early flowering]. The total ash content decreased first and then increased [the highest was $(3.73 \pm 0.02)\%$ at full-flowering stage]. The early flowering stage of total sugar was the highest $(1.65 \pm 0.19)\%$. It contained 16 abundant amino acids (7 essential amino acids and 9 non-essential amino acids), and the total amino acid content decreased with the development of flowering period. The proportion of essential amino acids and E/N value were close to the international high-quality protein standard, showing good protein nutritional value. In the *Macadamia* flowers at different flowering stages, the contents of five major elements in the three flowering stages showed the order of $K > Ca > P > Mg > Na$, highlighting the advantages of high K and low Na. The content of K at full-flowering stage was 5.2 times that of banana, and the content of Ca was 5.0 times that of milk. However, as a food development, it is necessary to pay attention to the risk of excessive As, Cr and other harmful elements. A total of 22 (the bud swelling period), 14 (early flowering stage) and 20 (full-flowering stage) volatile components were identified, mainly hexanal and d-limonene, which together constituted its unique floral characteristics. The analysis of active components showed that the content of total polyphenols decreased significantly with the prolongation of flowering period, and the bud swelling period was $(18.47 \pm 2.3) \text{ mg/g}$. The content of total flavonoids increased first and then decreased, and the content was the highest in the early flowering stage, reaching $(8.09 \pm 0.63) \text{ mg/g}$. The antioxidant activity evaluation showed that the DPPH and ABTS free radical scavenging rates were the highest in the bud swelling period, which were $(89.96 \pm 0.61)\%$ and $(99.50 \pm 0.22)\%$, respectively, and the antioxidant capacity was strong. In summary, the *Macadamia* flowers are rich in amino acids, minerals and active substances from the bud swelling period to the full-flowering stage, and have high antioxidant capacity, which provides a scientific basis for their subsequent development and utilization.

Keywords: different florescence; *Macadamia* flower; nutritional ingredients; antioxidant activity

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.12.013

澳洲坚果 (*Macadamia* spp.), 又称夏威夷果, 为山龙眼科 (*Proteaceae*) 澳洲坚果属 (*Macadamia* F. Muell) 的多年生常绿乔木果树^[1]。其果仁香酥美味, 且富含营养, 素有“干果皇后”的美誉, 在国际市场上广受欢迎, 使得众多适宜种植的国家 and 地区积极引种试种或扩大种植面积^[2]。目前, 我国澳洲坚果种植规模已达 33.7 万 hm^2 , 约占世界总种植面积的 2/3。其中, 云南的种植面积达 27.6 万 hm^2 , 约占世界总种植面积的 50%, 占全国总面积的 80%, 而临沧的澳洲坚果种植面积占云南的 50% 以上。澳洲坚果营养丰富, 脂肪含量在 71.74%~76.03% 之间, 蛋白质含量为 8.17%^[3]。其平均鲜果单果质量为 22.48 g, 果仁中富含 K、Ca、Mg、Fe、Zn、P 等人体必需的矿质营养物质^[4]。现有研究多聚焦于澳洲坚果的果仁及其加工副产物 (如坚果壳、青皮和粕类) 的开发利用方面, 对澳洲坚果花的研究则相对较少。澳洲坚果花为总状花序, 生长于腋生或近顶生处, 颜色为淡黄色或者白色。新鲜的坚果花散发着甜美的香气, 芬芳馥郁, 气味独特^[5]。在云南的澳洲坚果种植区, 正常情况下盛花期为 2—3 月, 且大部分种植区都存在不同程度的非正常花期开花现象^[6]。每株成年澳洲坚果树每年可产生多达 25 万朵以上的花, 花量十分庞大, 但最终成功发育成成熟果实的花却不到 2%。在一些澳洲坚果果园中, 为提

高产量, 往往会对澳洲坚果进行疏花作业, 而被疏除的花常常被视为废弃物而未得到利用^[7]。目前, 国内外均缺乏对不同花期澳洲坚果花营养成分及抗氧化活性的研究。鉴于此, 本研究选取萌动期、初花期、盛花期澳洲坚果花, 剖析其营养成分、活性成分及抗氧化活性, 旨在为澳洲坚果花的精深加工及资源开发利用提供理论支撑与参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植物材料 澳洲坚果花试样采自云南省临沧市云县 ($24^{\circ}23'N$, $100^{\circ}12'E$), 采样地点海拔为 1652 m, 气压为 834 hPa。所选坚果树生长良好, 正常开花。于 2025 年 2 月, 在天晴的 10:00—11:00 进行采样。样品经自然晒干后, 粉碎过 60 目筛备用。

1.1.2 主要试剂 考马斯亮蓝 G-250 购自合肥博美生物科技有限责任公司, 牛血清白蛋白 (BSA)、亚硝酸钠、L-抗坏血酸、过硫酸钾购自上海麦克林生化科技股份有限公司; 无水乙醇、九水硝酸铝购自成都市科隆化学品有限公司; 氢氧化钠购自天津市风船化学试剂科技有限公司; 芦丁 (标准品 $\geq 98\%$)、没食子酸标准品 ($\geq 99\%$)、福林酚、ABTS ($\geq 98.0\%$)、DPPH ($\geq 98.0\%$) 购自飞净生物科技有限公司; 碳酸钠购自天津市光

复发展科技有限公司; 葡萄糖购自河北弘状元教育科技有限公司; 氨基酸标准品 (AAS18) 购自 SIGMA 公司; 石油醚、乙醚购自烟台远东精细化工有限公司。

1.2 方法

1.2.1 主要成分测定 样品前处理: 挑选新鲜、无腐烂、无虫害的澳洲坚果花, 经自然风干、粉碎后, 过 80 目筛, 置于 -20°C 冰箱保存备用。

主要营养成分测定方法: 水分采用 GB 5009.3—2016 (第一法 直接干燥法) 测定; 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 试剂染色法测定; 粗脂肪采用 GB 5009.6—2016 (第一法 索氏抽提法) 测定; 氨基酸采用 GB 5009.124—2016 测定; 矿物质采用 GB 5009.268—2016 测定; 总糖采用苯酚硫酸法测定; 总灰分采用 GB 5009.4—2016 (第一法 食品中总灰分的测定) 测定。

1.2.2 香气成分测定 样品处理: 称取 2 g 样品移入 15 mL 萃取瓶中, 快速密封。将 SPME 萃取纤维头在 GC-MS 进样口于 250°C 老化至无杂峰。将样品瓶置于固相微萃取装置上, 设定温度为 70°C ; 将样品瓶放在萃取装置预热 15 min。将 SPME 萃取头通过瓶盖插入样品的顶空部分, 使纤维头高于样品上表面约 1.0 cm, 顶空萃取 40 min。抽回纤维头, 从样品瓶中拔出, 再将萃取头插入 GC-MS 进样口, 推出纤维头, 于 250°C 解析 5 min 后进行进样分析。

采用 MS 数据库 NIST20 和保留时间对检测出的成分进行定性; 采用面积归一化法进行定量分析。

1.2.3 提取物制备 参考刘佳微等^[8]的方法并略作修改, 称取 2 g 澳洲坚果花样品, 加入 10 倍量 70% 乙醇, 在 50°C 、超声频率 100 W 的条件下超声提取 50 min, 冷却至室温后过滤取滤液。滤渣按上述方法进行第二次提取, 合并滤液并定容后备用。

1.2.4 多酚含量测定 参考朱文华等^[7]的方法并略作修改, 取 7 支 10 mL 干净的试管, 分别加入 0、1、2、3、4、5、6 mL 浓度为 0.2 mg/mL 的没食子酸标准工作液, 并定容至 10 mL, 得到质量浓度为 0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1、0.12 mg/mL 的溶液。另取 7 支干净试管, 分别加入上述标准液各 1 mL, 加入 1 mL 去离子水和 2.5 mL 的福林酚试剂 (10%), 振荡混匀后, 在黑暗中静置 5 min,

随后加入 2 mL 的碳酸钠溶液 (20%), 用去离子水定容至 10 mL, 于避光条件下静置 1 h。以未加标准液的溶液作为空白对照, 在波长为 765 nm 处测吸光值。以标准溶液浓度 (mg/mL) 为横坐标, 以吸光度 (A) 为纵坐标绘制标准曲线。

样品测定: 取 0.5 mL 的样品溶液于比色管中, 按上述步骤进行操作, 同时做样品空白。以没食子酸标准曲线为参照, 按公式计算总酚含量 (mg/g), 重复测定 3 次, 结果取平均值。总酚含量 (mg/g) $= (C \times V \times L) / M$, 式中, C 为依据标准曲线算出样品中多酚的质量浓度 (mg/mL); V 为定容体积 (mL); L 为稀释倍数; M 为澳洲坚果花质量 (g)。

1.2.5 黄酮含量测定 参考刘佳微等^[8]的方法并略作修改, 配置浓度为 0.1 mg/mL 芦丁标准溶液。分别精密移取 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL 至 10 mL 比色管中, 补充 70% 乙醇至总体积为 5 mL。加入 0.3 mL 亚硝酸钠溶液 (5%), 振荡混匀后静置 6 min, 加入 0.3 mL 硝酸铝溶液 (10%), 振荡混匀后静置 6 min, 加入 4 mL 氢氧化钠溶液 (4%), 70% 乙醇定容至刻度, 在 40°C 水浴中避光孵育 15 min, 于 510 nm 波长下进行比色。以吸光度 (A) 为纵坐标, 以芦丁标准溶液浓度 (mg/mL) 为横坐标制作标准曲线。

样品测定: 取 0.5 mL 的样品溶液于比色管中, 按上述操作步骤进行测定, 同时做样品空白。按公式计算总黄酮含量 (mg/g), 重复测定 3 次, 结果取平均值。总黄酮含量 (mg/g) $= (C \times V \times L) / M$, 式中, C 为依据标准曲线算出样品中黄酮的质量浓度 (mg/mL); V 为定容体积 (mL); L 为稀释倍数; M 为澳洲坚果花质量 (g)。

1.2.6 提取物 DPPH 自由基清除能力测定 参考黄玲艳等^[9]的方法并略作修改, 用无水乙醇配置浓度为 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液。首先, 移取 200 μL 的坚果花提取液, 加入 3 mL 的 DPPH 溶液, 充分混匀后置于避光条件下反应 30 min, 随后在 517 nm 波长处测定吸光度, 记为样品吸光度值 A_1 。其次, 将 200 μL 坚果花提取液与 3 mL 无水乙醇混合, 测定该体系的本底吸光度值 A_2 ; 同时, 取 200 μL 蒸馏水与 3 mL DPPH 溶液混合, 测定其对照吸光度值 A_0 。按公式计算 DPPH 自由基清除率: $\text{DPPH 清除率} = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100\%$, 重复测定 3 次, 结果取平均值。以浓度 1.2 mg/mL

V_C 为对照组,按照以上方法进行测定。

1.2.7 澳洲坚果花提取物 ABTS 自由基清除能力测定 参考孟庆然等^[10]的方法并略作修改,取等量的 ABTS 储备液和过硫酸钾储备液,混合后置于避光环境下反应 12 h,使用前进行稀释。试验操作步骤如下:首先,量取 20 μL 澳洲坚果花提取液,加入 3 mL 的 ABTS 溶液中,在室温条件下反应 10 min,之后在 734 nm 波长处测定吸光度,记为样品吸光度 A₁。接着,取 20 μL 待测样品与 3 mL 无水乙醇混合,测定该混合液的样品本底吸光度值 A₂。

最后,将 20 μL 蒸馏水与 3 mL ABTS 溶液混合,测定其对照吸光度值 A₀。按公式计算 ABTS 自由基清除率:ABTS 清除率=[1-(A₁-A₂)/A₀]×100%,重复测定 3 次,结果取平均值。以浓度 1.5 mg/mL V_C 为对照组,按照以上方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 澳洲坚果花主要营养成分含量

测定澳洲坚果花 3 个花期的含水量、可溶性蛋白质、粗脂肪、总糖和总灰分含量,结果见表 1。

表 1 澳洲坚果花基础营养成分含量
Tab. 1 Contents of basic nutritional components in *Macadamia* flower

时期 Period	含量 Content/%				
	水分 Moisture	可溶性蛋白质 Soluble protein	粗脂肪 Crude fat	总灰分 Total ash	总糖 Total sugar
萌动期	70.99±2.58 ^a	0.054±0.009 ^a	2.00±0.035 ^b	3.61±0.01 ^b	1.48±0.17 ^a
初花期	68.27±3.25 ^a	0.030±0.003 ^b	2.20±0.021 ^a	2.89±0.01 ^c	1.65±0.19 ^a
盛花期	66.06±2.31 ^a	0.033±0.001 ^b	1.61±0.070 ^c	3.73±0.02 ^a	1.11±0.11 ^b

注:同行不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).

由表 1 可知,在发育过程中,水分含量呈递减趋势,但差异不显著,最高为萌动期,达(70.99±2.58)%。3 个阶段中,可溶性蛋白含量最高为萌动期,为(0.054±0.009)%,且萌动期的可溶性蛋白含量显著高于其他 2 个花期(P<0.05)。粗脂肪含量呈先升后降的趋势,不同花期中粗脂肪含量差异显著,最高为初花期,达(2.20±0.021)%。总灰分含量呈先降后升的趋势,不同花期中总灰分含量差异显著,最高为盛花期,达(3.73±0.02)%。总糖含量呈先升后降的趋势,初花期最高,为(1.65±0.19)%,其中盛花期的总糖含量显著低于其他 2 个花期(P<0.05)。

2.2 澳洲坚果花氨基酸含量

氨基酸是生命代谢的物质基础,对生物大分子的活性及其生理功能有着极为重要的作用^[11]。若必需氨基酸摄入不足,会导致人体代谢失衡、抵抗力降低,进而对机体产生不良影响。非必需氨基酸不仅能预防动物生长发育迟滞及慢性疾病,还可调节机体的脂肪代谢、蛋白质周转、糖原异生、核酸合成以及免疫应答等生理过程^[12]。对 3 个不同花期澳洲坚果花的氨基酸含量测定结果表明(表 2),澳洲坚果花的氨基酸在种类与含量方面均较为丰富,共检测出 16 种氨基酸,其中 7 种属于必需氨基酸,另外 9 种为非必需氨基酸。在不同花期,氨基酸含量呈显著差异:萌

动期时,总氨基酸含量达到 131.288 mg/g,其中必需氨基酸总量为 52.124 mg/g;进入初花期,总氨基酸含量下降至 102.993 mg/g,必需氨基酸总量下降至 40.986 mg/g;至盛花期,总氨基酸含量进一步减少至 92.927 mg/g,必需氨基酸总量为 35.721 mg/g。从比例关系分析,萌动期、初花期、盛花期的必需氨基酸占总氨基酸含量的比例依次为 39.70%、39.79%、38.44%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(EAA/NEAA,即 E/N)分别为 0.658、0.661、0.624,接近 FAO/WHO 标准规定的理想蛋白质中必需氨基酸含量(40%)和 E/N 值(0.6)^[13]。在花发育过程中,氨基酸含量呈现递减趋势,含量最高的氨基酸为天冬氨酸和谷氨酸,其次为精氨酸和亮氨酸。苯丙氨酸、谷氨酸、天冬氨酸及其衍生物可作为多种疾病的治疗药物^[14],天冬氨酸有镇咳祛痰的功效,谷氨酸有健脑的功效^[15],亮氨酸作为人体必需氨基酸,其应用范畴涵盖对幼儿特发性高血糖症的治疗,以及由糖代谢异常伴随胆汁分泌减少所引发肝病、肌肉萎缩等病症的干预。

2.3 澳洲坚果花矿物质含量

矿物质是机体必需的营养物质,动物机体不能自行合成矿物质,必须从外界获取,它对动物的生理健康与机体代谢有着重要意义^[16]。对不同花期澳洲坚果花的矿物质含量进行测定,结果见

表 2 澳洲坚果花氨基酸含量
Tab. 2 Content of amino acids in *Macadamia* flower

时期 Period	含量 Content/(mg·g ⁻¹)								
	异亮氨酸 Isoleucine	亮氨酸 Leucine	赖氨酸 Lysine	蛋氨酸 Methionine	苯丙氨酸 Phenylalanine	苏氨酸 Threonine	缬氨酸 Valine	天冬氨酸 Aspartic acid	丝氨酸 Serine
萌动期	6.666	10.038	9.312	2.019	7.065	6.390	7.005	18.468	8.585
初花期	5.110	7.599	6.939	1.738	5.650	5.312	5.663	11.008	6.446
盛花期	4.592	6.450	6.212	1.262	4.835	4.881	4.958	10.715	5.843

时期 Period	含量 Content/(mg·g ⁻¹)								
	谷氨酸 Glutamic acid	甘氨酸 Glycine	丙氨酸 Alanine	胱氨酸 Cystine	酪氨酸 Tyrosine	组氨酸 Histidine	精氨酸 Arginine	必需氨基酸 EAA	非必需氨基酸 NEAA
萌动期	18.428	6.666	6.948	2.504	6.142	3.629	11.423	52.124	79.164
初花期	15.721	5.317	6.403	2.261	4.414	2.975	10.435	40.986	62.007
盛花期	18.647	4.980	4.969	2.675	3.791	2.531	5.587	35.721	57.206

表 3~表 5。由表 3 可知，澳洲坚果花常量元素含量丰富。5 种常量元素含量中，3 个花期的澳洲坚果花中含量大小顺序均为：钾>钙>磷>镁>钠，表现出高钾低钠的特点。在花发育过程中，钾元素含量呈递增趋势，钙、磷、镁、钠元素含量呈先降后增的趋势，其中盛花期钾、钠、钙含量最高，分别为 13419、186.0、5231 mg/kg，萌动期镁和磷含量高于其他 2 个花期，分别为 1662、3233 mg/kg。盛花期钾含量是香蕉钾含量的 5.2 倍，钙含量是牛乳（均值）的 5.0 倍（数据源于食物营养成分查询平台）。

由表 4 可知，铁和铝在盛花期显著富集，含量分别达到 943、659 mg/kg，较萌动期增长约 70%

和 80%，可能与其在生殖生长中的作用相关；锌和铜在萌动期含量较高，分别为 25.3、13.30 mg/kg，初花期后下降，可能与其早期发育有关。此外，钡和锆呈现动态波动，盛花期分别回升至 57.7、4.53 mg/kg。

表 3 澳洲坚果花常量元素含量
Tab. 3 Content of macroelements in *Macadamia* flower

时期 Period	含量 Content/(mg·kg ⁻¹)				
	钾 K	钠 Na	钙 Ca	镁 Mg	磷 P
萌动期	11395	83.0	3801	1662	3233
初花期	12870	59.3	2942	1288	1894
盛花期	13419	186.0	5231	1550	2325

表 4 澳洲坚果花微量元素含量
Tab. 4 Content of trace elements in *Macadamia* flower

时期 Period	含量 Content/(mg·kg ⁻¹)											
	锰 Mn	铁 Fe	钴 Co	铜 Cu	锌 Zn	锶 Sr	钡 Ba	铝 Al	钒 V	镍 Ni	钛 Ti	锆 Zr
萌动期	719	557	29.0	13.30	25.3	11.90	52.5	365	7.56	3.03	27.6	2.20
初花期	627	687	26.4	9.87	17.9	9.88	27.2	400	2.63	2.05	16.7	1.33
盛花期	729	943	28.0	11.70	18.9	15.00	57.7	659	7.38	2.30	105.0	4.53

表 5 澳洲坚果花有害金属元素含量
Tab. 5 Content of harmful metals in *Macadamia* flower

时期 Period	含量 Content/(mg·kg ⁻¹)				
	汞 Hg	镉 Cd	铅 Pb	砷 As	铬 Cr
萌动期	0.0296	0.00200	0.261	0.651	2.43
初花期	0.0404	0.00735	0.279	0.714	2.73
盛花期	0.0231	0.01880	0.799	1.160	5.78

重金属对人体危害较大，需要严格控制的主要有汞、镉、铅、砷等 4 种元素^[17]。铬元素属于

人体所需的微量元素，对人体健康极为重要，但人体中铬元素过多则会引起中毒^[17]，因此纳入有害元素分析。由表 5 可知，汞含量和玫瑰花一样均低于 0.2 mg/kg。不同花期的镉含量均低于 GB 2762—2022 标准中蔬菜及其制品里的新鲜蔬菜（0.5 mg/kg）的限量值。不同花期澳洲坚果花中的铅含量均低于 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》对干菊花（5.0 mg/kg）和干制蔬菜（0.8 mg/kg）中铅含量的限定值，铅

污染风险较低。而其砷和铬含量却超过了 GB 2762—2022 标准中蔬菜及其制品里的新鲜蔬菜（0.5 mg/kg）对这 2 种重金属的限量规定。若澳洲坚果花作为食品原料，需严格控制污染源（如土壤、水源），并优化种植或加工工艺以降低金属残留。

2.4 澳洲坚果花香气成分含量

3 个花期的澳洲坚果花的香气成分测定结果见表 6~表 8。由表 6 可知，萌动期共鉴定出 22 种挥发性物质。其中，醛类 4 种（占 47.8%）、烯类 4 种（占 17.47%）、醇类 9 种（占 23.7%）、酯类 1 种（占 0.82%）、酮类 1 种（占 0.98%）、羧酸类 1 种（占 7.45%）、其他类 2 种（占 1.85%）。醛类的相对含量最高，主要成分为己醛；其次为烯类和醇类，主要成分为桉烯、d-柠檬烯、蘑菇醇、橙花醇。

在初花期鉴定出的挥发性化合物种类最少，共检测到 14 种挥发性物质（表 7）。其中，醛类 4 种（占 25.56%）、醇类 6 种（占 40.54%）、烯

类 2 种（占 15.77%）、酮类 1 种（占 17.03%）、烷烃类 1 种（占 1.1%）。醛类的含量最高，主要成分为己醛；其次为醇类、酮类，主要为 (3R,6S)-2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-吡喃-3-醇、苯乙醇和 3-羟基-2-丁酮。

在盛花期，共鉴定出 20 种挥发性化合物（表 8）。其中，醛类 4 种（占 44.11%）、烯类 4 种（占 12.41%）、醇类 5 种（占 32.77%）、酯类 1 种（占 0.61%）、羧酸类 1 种（占 2.71%）、酮类 2 种（占 1.25%）、烷烃类 1 种（占 0.81%）、其他类 2 种（占 5.33%）。醛类的含量最高，主要成分为己醛；其次为醇类和烯类，主要为 (3R,6S)-2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-吡喃-3-醇、苯甲醇、苯乙醇和 d-柠檬烯。

在花开过程中，醛类从萌动期的 47.8%下降至初花期的 25.26%，又上升至 44.11%；烯类呈递减趋势；醇类和酮类呈先增加后降低，初花期达到最高含量。

本研究所得结果与郭刚军等^[5]报道的数据存

表 6 澳洲坚果花萌动期香气成分含量
Tab. 6 Content of aroma components in *Macadamia* flower at the bud swelling period

化合物类型 Compound type	数量 Quantity	化合物名称 Compound name	保留时间 Retention time/min	CAS 编号 CAS No.	匹配度 Match degree/%	相对含量 Relative content/%
醛类	1	己醛	1.510	66-25-1	84.62	35.45
	2	2-己烯醛	4.789	505-57-7	95.55	8.58
	3	反-2-庚醛	7.950	18829-55-5	91.73	1.84
	4	苯甲醛	13.309	100-52-7	88.78	1.93
烯类	1	桉烯	2.029	3387-41-5	94.25	5.44
	2	月桂烯	3.270	123-35-3	86.36	1.53
	3	d-柠檬烯	4.169	5989-27-5	97.18	8.88
	4	正戊烯	5.950	109-67-1	82.45	1.62
醇类	1	正戊醇	4.655	71-41-0	92.67	2.03
	2	正己醇	8.988	111-27-3	95.30	2.20
	3	反式-3-己烯-1-醇	9.753	928-97-2	94.89	3.80
	4	蘑菇醇	11.646	3391-86-4	94.80	4.16
	5	2-乙基己醇	12.652	104-76-7	84.67	0.96
	6	橙花醇	17.594	106-25-2	97.52	6.65
	7	香叶醇	18.171	106-24-1	83.32	0.59
	8	苯甲醇	18.417	100-51-6	95.18	2.36
	9	苯乙醇	18.829	60-12-8	92.85	0.95
酯类	1	丁酸异戊酯	6.383	106-27-4	82.67	0.82
羧酸类	1	正己酸	18.043	142-62-1	94.59	7.45
酮类	1	(3E,5E)-辛-3,5-二烯-2-酮	13.176	38284-27-4	84.05	0.98
其他类	1	2-甲基戊酸酐	15.593	63169-61-9	88.32	0.31
	2	2-戊基呋喃	5.174	3777-69-3	95.46	1.54

表 7 澳洲坚果花初花期香气成分含量

Tab. 7 Content of aroma components in *Macadamia* flower at early flowering stage

化合物类型 Compound type	数量 Quantity	化合物名称 Compound name	保留时间 Retention time/min	CAS 编号 CAS No.	匹配度 Match degree/%	相对含量 Relative content/%
醛类	1	己醛	1.227	66-25-1	88.71	14.13
	2	2-己烯醛	4.800	6728-26-3	89.06	6.19
	3	反-2-庚醛	7.950	18829-55-5	86.12	1.24
	4	苯甲醛	13.325	100-52-7	86.56	4.00
烯类	1	β-水芹烯	2.024	555-10-2	87.19	2.15
	2	d-柠檬烯	4.168	5989-27-5	95.73	13.62
醇类	1	蘑菇醇	11.646	3391-86-4	87.32	2.54
	2	2-乙基己醇	12.651	104-76-7	85.56	1.90
	3	(2S,3S)-(+)-2,3-丁二醇	14.368	19132-06-0	80.33	0.93
	4	(3R,6S)-2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-吡喃-3-醇	17.123	39028-58-5	97.01	23.30
	5	苯甲醇	18.417	100-51-6	95.86	5.06
	6	苯乙醇	18.834	60-12-8	94.19	6.81
酮类	1	3-羟基-2-丁酮	6.607	513-86-0	87.77	17.03
烷烃类	1	甲基环戊烷	8.988	96-37-7	82.80	1.10

表 8 澳洲坚果花盛花期香气成分含量

Tab. 8 Content of aroma components in *Macadamia* flower at full-flowering stage

化合物类型 Compound type	数量 Quantity	化合物名称 Compound name	保留时间 Retention time/min	CAS 编号 CAS No.	匹配度 Match degree/%	相对含量 Relative content/%
醛类	1	己醛	1.205	66-25-1	94.65	32.85
	2	反-2-己烯醛	4.805	6728-26-3	93.47	5.81
	3	反-2-庚醛	7.961	18829-55-5	84.25	0.74
烯类	4	苯甲醛	13.320	100-52-7	92.79	4.17
	1	桉烯	2.034	3387-41-5	89.52	2.27
	2	月桂烯	3.270	123-35-3	82.61	1.13
	3	d-柠檬烯	4.158	5989-27-5	96.38	7.88
	4	异戊烯	4.645	513-35-9	83.76	1.13
醇类	1	蘑菇醇	11.657	3391-86-4	88.68	1.26
	2	(3R,6S)-2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-吡喃-3-醇	17.134	39028-58-5	97.07	16.89
	3	2-乙基己醇	12.657	104-76-7	81.20	0.74
	4	苯甲醇	18.417	100-51-6	96.87	6.62
	5	苯乙醇	18.835	60-12-8	96.26	7.26
烷烃类	1	甲基环戊烷	8.998	96-37-7	89.28	0.81
羧酸类	1	正己酸	18.054	142-62-1	91.47	2.71
酯类	1	甲酸叶醇酯	9.753	33467-73-1	80.29	0.61
酮类	1	甲基庚烯酮	8.362	110-93-0	80.75	0.69
	2	6-乙烯基二氢-2,2,6-三甲基-2H-吡喃-3(4H)-酮	11.919	33933-72-1	82.19	0.56
其他类	1	苯乙腈	18.968	140-29-4	88.60	3.95
	2	2-戊基呋喃	5.179	3777-69-3	92.58	1.38

在显著差异。具体表现为烯烃类、醇类、醛类、酮类化合物的种类较文献报道结果更为丰富，而酯类和酸类物质的相对含量偏低。这可能与样品的萃取方式、品种、产地、气候环境等有关。

2.5 澳洲坚果花主要活性成分含量

以吸光度为纵坐标，以没食子酸、芦丁标准品溶液为横坐标建立回归方程，分别为： $y=11.464x+0.021$ ($R^2=0.9995$)； $y=12.02x+0.0203$ ($R^2=0.9992$)。由表 9 可知，在花发育过程中，总酚含量呈递减趋势，但 3 个花期差异不显著。初花期的总黄酮含量为(8.09±0.63)mg/g，处于最高水平，且其总黄酮含量显著高于盛花期 ($P<0.05$)，总黄酮含量整体上呈先上升后下降的趋势。其中，总酚含量高于栀子花^[18]的含量，接近核桃雄花^[19]的多酚含量，但总黄酮含量低于栀子花及核桃雄花的黄酮测定值。

表 9 澳洲坚果花主要活性成分含量
Tab. 9 Content of main active components in *Macadamia* flower

样品名称 Sample name	含量 Content/(mg·g ⁻¹)	
	总酚 Total polyphenols	总黄酮 Total flavonoids
萌动期	18.47±2.31 ^a	7.13±0.84 ^{ab}
初花期	17.94±2.40 ^a	8.09±0.63 ^a
盛花期	16.04±0.80 ^a	6.30±0.89 ^b

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

2.6 澳洲坚果花提取物 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力

由不同花期澳洲坚果花提取物 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力测定结果可知(表 10)，在 DPPH 自由基清除体系中，花发育各阶段均表现出较高活性，但随花器官成熟度增加呈下降趋势：萌动期 DPPH 自由基清除率达(89.96±0.61)%，至初花期降至(88.92±0.37)%，盛花期进一步下降至(85.50±1.08)%，盛花期的 DPPH 自由基清除能力显著低于其他 2 个花期 ($P<0.05$)。表明其抗氧化活性在花发育早期即达到峰值并随成熟进程缓慢衰减。且 3 个花期样品的 DPPH 自由基清除率均低于浓度 1.2 mg/mL V_c 对照组 (91.27%)。在 ABTS 自由基清除体系中，各发育阶段样品均表现出超高效清除能力，清除率均在 99.30%~99.50% 区间，优于浓度 1.5 mg/mL V_c 对照组 (89.77%)。

表 10 澳洲坚果花清除自由基的能力
Tab. 10 Antioxidant capacity of *Macadamia* flower

样品名称 Sample name	自由基清除率 Free radical scavenging rate/%	
	DPPH	ABTS
萌动期	89.96±0.61 ^a	99.50±0.22 ^a
初花期	88.92±0.37 ^a	99.30±0.35 ^a
盛花期	85.50±1.08 ^b	99.47±0.17 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

3 讨论

澳洲坚果具有花量大但坐果率低的生物学特性，使得大量未参与果实发育的花朵自然脱落而未被有效利用。本研究系统测定澳洲坚果花在萌动期、初花期和盛花期的主要营养成分、氨基酸、矿物质、香气成分、活性成分及抗氧化能力，揭示其在花发育过程中的动态变化规律，为澳洲坚果花的资源化利用提供科学依据。

澳洲坚果花的水分含量较高 (66.06%~70.99%)，符合花卉组织的一般特征；可溶性蛋白含量 (0.030%~0.054%) 在萌动期含量最高，推测与早期花芽代谢活跃、蛋白质合成旺盛相关，其含量显著高于开封食用菊花中可溶性蛋白含量^[20]；粗脂肪含量 (1.61%~2.20%) 在初花期达到峰值；且盛花期钾元素 (13419 mg/kg) 和钙元素 (5231 mg/kg) 显著富集，钾含量是香蕉的 5.2 倍，钙含量是牛乳的 5 倍，具有高钾低钠的特性。但应注意砷、铬等有害元素超标问题，需通过土壤改良或加工工艺优化控制风险。澳洲坚果花含 16 种氨基酸，必需氨基酸占比 (38.44%~39.70%) 及 EAA/NEAA 比值(0.624~0.661)接近 FAO/WHO 理想蛋白标准，表明其氨基酸组成均衡，具有潜在营养补充价值。

3 个花期的澳洲坚果花中共鉴定出 22 种挥发性化合物，包括醛类、烯类、醇类、酮类、酯类等，以醛类 (如己醛) 和醇类 (如苯乙醇) 为主，其组成和含量在不同花期呈现显著动态变化。这些挥发性成分不仅影响花的香气特征，还可能与其生态功能 (如传粉吸引、防御机制) 相关，在食品香料、日化香精等领域表现出良好的应用前景，未来可通过优化采收期、改进提取工艺等进一步提升其开发利用价值。

与不同处理方式的玫瑰花相比^[21]，澳洲坚果花在萌动期的总多酚含量达 18.47 mg/g，显著优

于玫瑰花经冷冻干燥处理后的 11.84 mg/g; 其初花期总黄酮含量 (8.09 mg/g) 与玫瑰花最优工艺处理结果 (8.30 mg/g) 相当, 但远超常规提取工艺 (4.36 mg/g)。在抗氧化活性方面, 澳洲坚果花萌动期的 DPPH 自由基清除率 (89.96%) 与玫瑰花最优处理 (91.59%) 相当, 而 ABTS 自由基清除率 (>99.3%) 更显著优于 V_C 对照组 (89.77%)。研究结果表明, 澳洲坚果花不仅具有更高的天然抗氧化物质含量, 还表现出优异的抗氧化活性, 是一种极具开发价值的天然抗氧化资源。

本研究结果表明, 澳洲坚果花在不同发育阶段表现出营养成分丰富、氨基酸组成均衡、矿物质含量较高及抗氧化活性优异等特性, 尤其在萌动期和初花期综合品质更优。可考虑作为天然抗氧化剂添加到食品或保健品中, 利用高钾低钠的特征开发功能饮品, 基于独特香气成分研制香料或化妆品原料等方面的应用。

本研究还存在一定局限性, 如多酚、黄酮活性成分的具体种类及协同作用机制还未明确, 重金属超标的来源 (如土壤、大气或灌溉水) 需进一步追溯。未来可通过分离纯化活性成分、开展安全性评估及田间调控试验, 为澳洲坚果花的产业化利用提供更全面的科学支撑。

参考文献

- [1] MLUNGISI S, MICHELE T, ALISTAIR C. The *Macadamia* bloom: what are the hydrological implications?[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 292: 110628.
- [2] 贺熙勇, 陶亮, 柳颀, 倪书邦. 国内外澳洲坚果产业发展概况及趋势[J]. *中国热带农业*, 2017(1): 4-11, 18.
HE X Y, TAO L, LIU J, NI S B. General situation and trend of Australian nut industry development at home and abroad[J]. *China Tropical Agriculture*, 2017(1): 4-11, 18. (in Chinese)
- [3] 任二芳, 牛德宝, 刘功德, 罗小杰, 艾静汶, 黄欣欣. 澳洲坚果仁营养成分分析与其加工副产物的综合利用研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(6): 194-199.
REN E F, NIU D B, LIU G D, LUO X J, AI J W, HUANG X X. Nutrient composition analysis of *macadamia* nut kernel and comprehensive utilization of its processing by-products[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6): 194-199. (in Chinese)
- [4] 谭秋锦, 韦媛荣, 黄锡云, 张涛, 许鹏, 宋海云, 王竹林, 郑树芳. 10 份澳洲坚果种质果实性状与营养成分分析[J]. *果树学报*, 2021, 38(5): 672-680.
- [5] TAN Q J, WEI Y R, HUANG X Y, ZHANG T, XU P, SONG H Y, WANG W L, ZHENG S F. Analysis of fruit traits and nutritional components of 10 *Macadamia* germplasms[J]. *Pomology Journal*, 2021, 38(5): 672-680. (in Chinese)
- [5] 郭刚军, 伍英, 徐荣, 刘昌芬. 超临界 CO_2 萃取澳洲坚果花挥发油的化学组成分析[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(12): 3059-3062, 3052.
GUO G J, WU Y, XU R, LIU C F. Chemical composition of volatile oil by supercritical CO_2 fluid extraction from *Macadamia ternifolia* flowers[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(12): 3059-3062, 3052. (in Chinese)
- [6] 宁娅, 陈宇春, 岳海, 何双凌, 贺熙勇. 云南澳洲坚果开花节律调查及花期调控初探[J]. *热带农业科技*, 2024, 47(1): 1-5.
NING Y, CHEN Y C, YUE H, HE S L, HE X Y. Investigation of flowering rhythm and flowering regulation of *Macadamia* in Yunnan[J]. *Tropical Agricultural Science and Technology*, 2024, 47(1): 1-5. (in Chinese)
- [7] 朱文华, 杨为海. 澳洲坚果花发育过程中抗氧化物质含量及抗氧化活性的变化[J]. *经济林研究*, 2023, 41(1): 63-70.
ZHU W H, YANG W H. Changes in antioxidant content and antioxidant activity during the development of *macadamia* flowers[J]. *Economic Forest Research*, 2023, 41(1): 63-70. (in Chinese)
- [8] 刘佳微, 曹国璠, 吴明开, 韩雪, 刘筱, 黄苏豫. “贵茛 1 号”不同部位中总酚、总黄酮、总多糖含量测定及其生物活性研究[J]. *中成药*, 2024, 46(6): 1968-1972.
LIU J W, CAO G F, WU M K, HAN X, LIU X, HUANG S Y. Determination of total phenols, total flavonoids and total polysaccharides in different parts of 'Guiji No.1' and their biological activities[J]. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 2024, 46(6): 1968-1972. (in Chinese)
- [9] 黄玲艳, 黄宏轶, 汪元元, 姚瑶, 孙霁寒, 刘冀婕, 彭景, 朱在勤. 16 种常见可食花卉水提液的总多酚与总黄酮含量及其抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(4): 353-356, 360.
HUANG L Y, HUANG H Y, WANG Y Y, YAO Y, SUN J H, LIU J J, PENG J, ZHU Z Q. The contents of total polyphenols and total flavonoids in the water extracts of 16 common edible flowers and their antioxidant activities[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(4): 353-356, 360. (in Chinese)
- [10] 孟庆然, 钱一文, 严昊, 张馨月, 周芷汀, 张志国, 高文杰. 萱草花中黄酮、多酚和多糖的提取及抗氧化活性[J]. *应用技术学报*, 2023, 23(2): 182-188.
MENG Q R, QIAN Y W, YAN H, ZHANG X Y, ZHOU Z T, ZHANG Z G, GAO W J. Extraction and antioxidant activity of flavonoids, polyphenols and polysaccharides from *Heme-*

- rocallis fulva* flowers[J]. Applied Technology Journal, 2023, 23(2): 182-188. (in Chinese)
- [11] 李莹杰, 张贞伟, 脱佳琪, 王艳壮, 杜红斌, 梁郅娜. 2 种厚皮甜瓜果实不同部位氨基酸组成分析[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(11): 48-56.
LI Y J, ZHANG Z W, TUO J Q, WANG Y Z, DU H B, LIANG D N. Analysis of amino acid composition in different parts of two thick-skinned melon fruits[J]. Chinese Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(11): 48-56. (in Chinese)
- [12] 高严, 张琳, 邓博文, 茹炜崇, 包劲松. 不同品种马铃薯全粉蛋白质、氨基酸和矿质元素营养成分差异研究[J]. 科技通报, 2024, 40(7): 1-7, 20.
GAO Y, ZHANG L, DENG B W, RU W D, BAO J S. Differences in nutritional components of protein, amino acids and mineral elements in different varieties of potato granules[J]. Bulletin of Science and Technology, 2024, 40(7): 1-7, 20. (in Chinese)
- [13] 王芳, 乔璐, 张庆庆, 沈斌. 桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 225-228.
WANG F, QIAO L, ZHANG Q Q, SHEN B. Amino acid composition analysis and nutritional value evaluation of mulberry leaf protein[J]. Food Science, 2015, 36(1): 225-228. (in Chinese)
- [14] 王远山, 徐建妙, 陈小龙, 郑裕国. 药用氨基酸的应用及其生物催化与生物转化法生产[J]. 中国现代应用药学, 2005, 22(增刊 3): 825-828.
WANG Y S, XU J M, CHEN X L, ZHENG Y G. Application of medicinal amino acids and their production by biocatalysis and biotransformation[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2005, 22(Suppl. 3): 825-828. (in Chinese)
- [15] 揣冰洁. 猕猴桃果中氨基酸含量分析与利用[J]. 农业与技术, 1999(5): 67-68, 78.
CHUAI B J. Analysis and utilization of amino acid content in kiwifruit[J]. Agriculture and Technology, 1999(5): 67-68, 78. (in Chinese)
- [16] 王威, 门晓冬, 薛敏, 刘璐, 范志影, 包郁明, 谷旭. 不同蛋白原料中矿物质元素含量分析[J]. 中国饲料, 2024(11): 129-136.
WANG W, MEN X D, XUE M, LIU L, FAN Z Y, BAO Y M, GU X. Analysis of mineral element content in different protein raw materials[J]. China Feed, 2024(11): 129-136. (in Chinese)
- [17] 曾心美, 王希, 石小庆, 蔡露, 李梦霞, 朱章顺, 陈存. 17 个品种木芙蓉花的矿质元素分析评价及健康风险评估[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 280-286.
ZENG X M, WANG X, SHI X Q, CAI L, LI M X, ZHU Z S, CHEN C. Analysis and evaluation of mineral elements and health risk assessment of 17 varieties of hibiscus mutabilis flowers[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 280-286. (in Chinese)
- [18] 张小龙, 吴斌霞, 朱钊宇, 许光治, 王艳, 张有做, 倪勤学. 山栀子不同部位活性成分含量及抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2024, 45(12): 10-17.
ZHANG X L, WU B X, ZHU Z Y, XU G Z, WANG Y, ZHANG Y Z, NI Q X. Content and antioxidant activity of active ingredients in different parts of *Gardenia jasminoides* Ellis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(12): 10-17. (in Chinese)
- [19] 王纪辉, 曾亚军, 侯娜, 耿阳阳, 胡伯凯, 刘亚娜, 张时馨, 杨光. 曲面响应法优化核桃雄花多酚提取工艺及其组成与抗氧化活性分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(10): 2997-3008.
WANG J H, ZENG Y J, HOU N, GENG Y Y, HU B K, LIU Y N, ZHANG S X, YANG G. Optimization of extraction process of polyphenols from walnut male flowers by surface response method and analysis of its composition and antioxidant activity[J]. Southern Journal of Agriculture, 2022, 53(10): 2997-3008. (in Chinese)
- [20] 张怡雪, 宋子燕, 高萌萌, 卞书讯, 孙林凤, 史雪雪, 李永华, 李菲. 开封食用菊新品种营养成分分析与评价[J]. 中国蔬菜, (2025-06-18)[2025-08-14]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=o8vMLOX1CKtBeKJLbBIZtTPU4e-wA-8k6QRXtgcWxwOTt_t0BYuXysFbF3tX6CopMCA7gU1zjaQvyB9OqX2gDGhFetIoUm40xf8dwg8EJ-eeNq3ZfW-EsRHkAr8wf5ubP2qaZzdhFo3pne0D6tLabXdl2qJ4tloDNXw1u3gD0nP82MLuHg-_OOw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
ZHANG Y X, SONG Z Y, GAO M M, BIAN S X, SUN L F, SHI X X, LI Y H, LI F. Nutrient composition analysis and evaluation of new edible chrysanthemum varieties in Kaifeng[J]. Chinese Vegetables, (2025-06-18)[2025-08-14]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=o8vMLOX1CKtBeKJLbBIZtTPU4e-wA-8k6QRXtgcWxwOTt_t0BYuXysFbF3tX6CopMCA7gU1zjaQvyB9OqX2gDGhFetIoUm40xf8dwg8EJ-eeNq3ZfW-EsRHkAr8wf5ubP2qaZzdhFo3pne0D6tLabXdl2qJ4tloDNXw1u3gD0nP82MLuHg-_OOw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS. (in Chinese)
- [21] 魏旭, 王芳, 韩文玉, 王元秀, 昌鲁, 王哲. 不同处理工艺对玫瑰花中抗氧化物质含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(12): 66-73.
WEI X, WANG F, HAN W Y, WANG Y X, CHANG L, WANG Z. Effects of different treatment processes on antioxidant content and antioxidant activity in *Rosa rugosa*[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2024, 15(12): 66-73. (in Chinese)